

Perancangan Bioreaktor *Packed Coloumn* Enzymatis Penghasil Biodisel Secara Kontinyu

Rudi Firyanto¹, Joga Dharma Setiawan², MF Sri Mulyaningsih¹

1. Teknik Kimia Fakultas Teknik UNTAG Semarang Jl. Pawiyatan Luhur Bendan Dhuwur Semarang, Telp. 024-8310920, Fax. 024-8310920, E-mail: teknik.kimia.untag.smg@gmail.com
2. Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP Semarang, Jl. Prof. H. Soedarto SH, Tembalang Semarang, E-mail: admin@mesin.ft.undip.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan bioreaktor *packed coloumn* enzymatis untuk produksi biodisel dari minyak jarak pagar secara kontinyu dengan menggunakan enzim indigeneous yaitu dari lateks pepaya dan bekatul maupun immobilized lipase. Target yang ingin dicapai berupa data-data teknis laboratorium untuk perancangan, *scale-up* dan pengoperasian proses yang meliputi kinetika reaksi, kondisi operasi yang optimum dan data-data hasil pengujian performa mesin disel. Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa konversi metil ester dengan menggunakan ekstrak bekatul lebih tinggi, yaitu sebesar 77,6%, sedangkan ekstrak getah pepaya sebesar 36,8%. Penelitian selanjutnya dilakukan dengan menggunakan enzim murni. Hasil reaksi menunjukkan bahwa konversi minyak jarak pagar menjadi metil ester sebesar 89,5%, jika digunakan lipase murni *Candida antarctica*. Studi produktivitas memperlihatkan konversi metil ester dengan penambahan *n*-heksan, terlihat lebih besar pada berbagai temperatur dibandingkan tanpa penambahan pelarut. Pengujian metil ester yang dilakukan meliputi *density*, viskositas, *energy content* dan *flash point*, menunjukkan bahwa sifat-sifat fisis maupun kimia metil ester yang terbentuk pada berbagai variabel memenuhi spesifikasi biodisel.

Kata kunci : *bioreaktor, enzymatis, kontinyu*

Pendahuluan

Energi fosil khususnya minyak bumi, merupakan sumber energi utama dan sumber devisa negara. Namun demikian, cadangan minyak bumi yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara itu, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Oleh karenanya berbagai upaya telah dilakukan untuk mencari bahan bakar alternatif yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) dan ramah lingkungan.

Sejak berabad-abad yang lalu minyak nabati, seperti minyak jarak pagar telah dikenal oleh masyarakat Indonesia. Minyak jarak pagar termasuk golongan setengah mengering (*semi drying oil*) atau minyak mengering (*drying oil*), sehingga tidak dapat digunakan sebagai minyak goreng. Hal ini disebabkan karena minyak tersebut jika kontak dengan udara pada suhu tinggi akan cepat teroksidasi sehingga berbau tengik. Oleh karenanya, minyak jarak pagar lebih baik diubah ke bentuk oleokimia, seperti biodisel.

Meskipun demikian, kendala yang dihadapi dalam mengkonversi minyak jarak pagar ke biodisel secara enzymatis, adalah harga enzim yang tersedia secara komersial masih mahal. Oleh karenanya perlu upaya dalam menurunkan dan menekan biaya produksi melalui penggunaan enzim yang berulang-

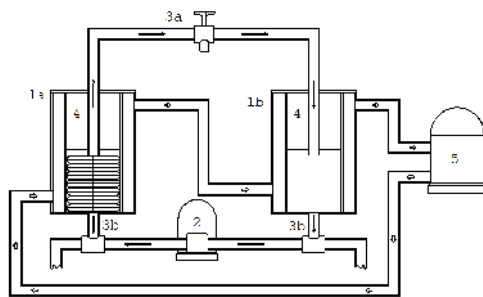
ulang dan produksi secara kontinyu (Ikhsan, dkk., 2007). Alternatif proses yang diusulkan adalah **produksi biodisel secara kontinyu menggunakan immobilized enyme dalam bioreaktor *packed coloumn***. Namun demikian, belum diketahui bagaimana kondisi optimum untuk proses tersebut. Oleh karenanya, perlu ditelaah pengembangan **bioreaktor *packed coloumn* enzymatis** untuk produksi biodisel secara kontinyu dari minyak jarak pagar.

Metode Penelitian

Penelitian tentang pembuatan biodisel dari minyak jarak pagar dengan biokatalis dalam bioreaktor *packed coloumn* enzymatis akan diuji baik secara eksperimen maupun pemodelan. Rangkaian penelitian akan dilaksanakan secara bertahap meliputi:

- Perancangan dan pabrikasi bioreaktor enzymatis *packed coloumn*
- Studi kinetika reaksi enzymatis dan komputasi proses
- Studi produktivitas biodisel
- Optimisasi parameter-parameter proses
- *Scale-Up* bioreaktor enzymatis *packed coloumn*
- Kinerja bioreaktor enzymatis *packed coloumn* *ter-scale-up*
- Performa mesin disel

Perancangan dan Pabrikasi Alat Reaktor Enzimatis. Rangkaian alat bioreaktor *packed column* enzimatis yang digunakan untuk proses enzimatis tersaji pada Gambar 1. Rangkaian alat ini terdiri dari jaket pemanas kolom, reservoir substrat, pompa resirkulasi, *three-way valves*, keran sampel, keran drain, *movable plungers* dan resirkulasi *water bath*. Unit tersebut terdiri dari reaktor enzim (13,5 cm x 2,5 cm dan diameter dalam 67 mL), serta reservoir substrat 375 mL. Reaktor enzim dan unit reservoir substrat diberi jaket yang dilalui air yang dikendalikan pada variasi temperatur dengan alat pensirkulasi air.



Gambar 1. Rangkaian alat reaktor enzimatis: (1a), jaket pemanas kolom; (1b), reservoir substrat; (2), pompa resirkulasi; (3a), keran sampel; (3b), keran drain; (4), *movable plungers*; (5), resirkulasi *water bath*

Eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan data-data yang berguna dalam penentuan parameter konstanta kecepatan reaksi yang dimodelkan dalam persamaan empiris. Data-data yang telah diukur digunakan sebagai alat untuk memvalidasi postulasi yang telah ditetapkan. Pengukuran data dilakukan di laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin UNDIP dan laboratorium Kimia Analisa Teknik Kimia UNTAG Semarang. Dengan demikian akan diperoleh model dan persamaan empiris yang tervalidasi.

Bahan dan Alat Penelitian. Bahan utama penelitian ini adalah minyak jarak pagar, petroleum ether, metanol, heksan, enzim lipase murni (*immobilized lipase*), enzim lipase lateks pepaya dan lipase dari bekatul. Minyak jarak pagar diperoleh dari sentra industri kecil di Kudus. Bahan-bahan kimia membeli di CV. Jurus Maju Semarang. Lipase murni (*immobilized lipase*) dari Nuvo, sedangkan enzim lateks pepaya dan lipase bekatul akan diekstrak dari pepaya dan bekatul.

Alat utama penelitian ini berupa bioreaktor *packed column* enzimatis. Sementara itu, alat pendukung yang dipakai pada penelitian ini adalah centrifuge, tabung reaksi dan ekstraktor berpengaduk.

Cara Kerja

Minyak jarak (125 mL, 0,13 mol) dan 30 ml metanol absolut (0,52 mol) dicampur sebelum ditempatkan dalam reservoir substrat. Reaktor enzim dipak dengan 10 paket enzim lipase yang masing-masing berisi 0,01 g enzim lipase. Paket enzim sedikit ditekan dengan batang bergerak. Subtrat disirkulasikan melalui reaktor dengan bantuan pompa sirkulasi pada variasi aliran (10 – 50 mL per menit). Reaksi standar dilakukan pada 50°C selama 48 jam pada laju alir 30 mL/menit. Setelah subtrat tersebut dikeluarkan dari bioreaktor *packed column* enzimatis, kemudian dialirkan melalui katup yang dapat mengatur campuran tersebut menjadi sampel. 1 mL larutan diisolasi untuk analisa HPLC dan GC guna mengukur produksi metil ester (Biodisel) sedangkan sisa campuran reaksi dikembalikan ke reservoir substrat dan disirkulasi balik ke reaktor enzim untuk transesterifikasi lanjut.

Hasil dan Pembahasan

Perancangan dan Pabrikasi Bioreaktor Kontinyu. Rangkaian alat ini terdiri dari jaket pemanas kolom, reservoir substrat, pompa resirkulasi, *three-way valves*, keran sampel, keran drain, *movable plungers* dan resirkulasi *water bath*. Unit tersebut terdiri dari reaktor enzim (13,5 cm x 2,5 cm dan diameter dalam 67 mL), serta reservoir substrat 375 mL. Reaktor enzim dan unit reservoir substrat diberi jaket yang dilalui air yang dikendalikan pada variasi temperatur dengan alat pensirkulasi air.

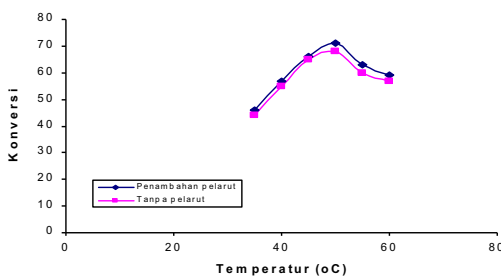
Uji Coba Bioreaktor Enzimatis Kontinyu. Uji coba alat proses digunakan untuk menstabilkan setting kondisi operasi, konsistensi proses dan stabilitas proses, sehingga dapat digunakan untuk mengukur data percobaan di laboratorium. Uji coba bioreaktor dengan menggunakan air maupun menggunakan reaktan berupa minyak jarak pagar dan metanol.

Penelitian Pendahuluan. Penelitian awal dilakukan dengan menggunakan enzim yang berasal dari ekstrak bekatul dan getah pepaya pada temperatur 50 °C, laju alir 10 ml/menit selama 24 jam. Penentuan kondisi reaksi didasarkan pada penelitian pendahuluan yang sudah dilakukan. Studi ini bertujuan untuk mengetahui enzim yang lebih berpotensi dalam mengkatalisis minyak jarak pagar menjadi metil ester. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi metil ester dengan menggunakan ekstrak bekatul lebih tinggi, yaitu sebesar 77,6%, sedangkan ekstrak getah pepaya sebesar 36,8%. Hal ini terjadi karena isolasi enzim dari getah pepaya lebih kompleks, sehingga dimungkinkan kemurnian enzim relatif rendah. Akibatnya, reaksi

transesterifikasi yang dikatalisis oleh enzim dari ekstrak getah pepaya cenderung sulit untuk menurunkan energi aktivasi reaksi. Untuk itu, penelitian lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan enzim yang berasal dari ekstrak bekatul. Meskipun demikian, Gandhi dkk (2001) menyatakan bahwa konversi metil ester yang dikatalisis oleh enzim lipase ekstrak getah pepaya sebesar 59% pada rasio 1:2 selama 24 jam.

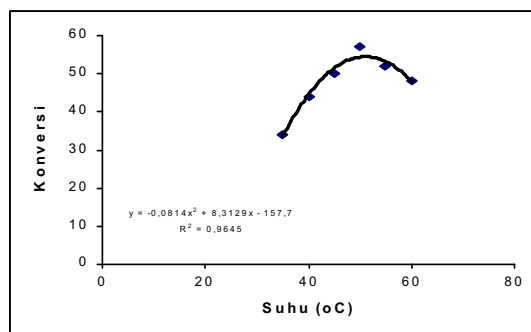
Penelitian Utama dan Studi Produktivitas.

Telaah produktivitas bertujuan untuk meningkatkan konversi metil ester yang dilakukan dengan penambahan pelarut organik berupa n-heksan. Studi ini dilakukan sesuai variabel proses. Hasil penelitian tentang hubungan konversi dengan temperatur tersaji pada Gambar 2. Konversi metil ester dengan penambahan n-heksan, terlihat lebih besar pada berbagai temperatur dibandingkan tanpa penambahan pelarut. Hal ini menunjukkan bahwa pelarut organik n-heksan mampu memfasilitasi kontak antara enzim dengan substrat, sehingga aktivitas enzim meningkat. Selain itu juga dapat mengencerkan viskositas cairan, akibatnya tumbukan antar molekul lebih sering terjadi. Pernyataan ini sesuai yang dilakukan oleh Nelson dkk, (1996), bahwa konversi trigliserida menjadi alkil ester dengan pelarut n-heksan meningkat menjadi 90%.



Gambar 2. Hubungan antara temperatur dengan konversi (laju alir 10 ml/menit dan waktu reaksi selama 12 jam)

Pengaruh Suhu. Pada umumnya setiap enzim memiliki aktivitas katalitik optimum pada temperatur tertentu. Temperatur optimum akan memberikan aktivitas katalitik terbesar. Gambar 3, menyajikan hasil yang diperoleh untuk variasi temperatur reaksi transesterifikasi. Kurva ini menunjukkan hubungan antara peningkatan konversi yang terbentuk terhadap temperatur. Seperti terlihat pada Gambar 3, kenaikan temperatur hingga 50 °C akan menyebabkan kenaikan aktivitas katalitik lipase sehingga meningkatkan derajat transesterifikasi.



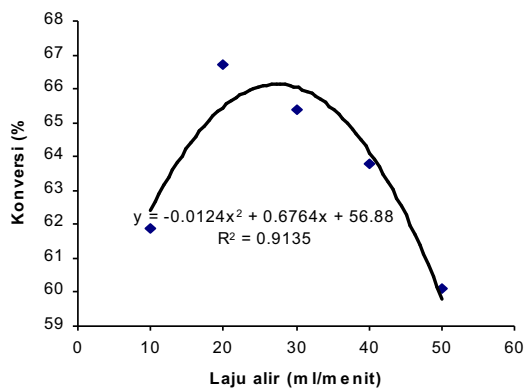
Gambar 3. Hubungan antara Temperatur dengan konversi (laju alir umpan 10 ml/menit dan waktu reaksi selama 8 jam)

Hal tersebut sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan hubungan aktivitas terhadap temperatur, yaitu :

$$A = A_o \cdot e^{\left(\frac{-\Delta E_h}{RT}\right)}$$

Dalam hubungan ini, A adalah aktivitas lipase pada saat temperatur T, A_o adalah aktivitas lipase saat temperatur acuan, ΔE_h adalah energi aktivasi reaksi transesterifikasi, R adalah temperatur gas, dan T adalah temperatur proses transesterifikasi.

Pengaruh Laju Alir. Pengaruh laju alir pada berbagai variabel proses dilakukan pada rentang 10 – 50 ml tiap menit. Hasil percobaan dengan perolehan konversi reaksi tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara laju alir dengan konversi (suhu 50 °C dan waktu reaksi selama 8 jam)

Kesimpulan dan Saran

Aktivitas lipase meningkat dengan kenaikan temperatur dan semakin besar laju alir, konversi reaksi transesterifikasi semakin meningkat. Penambahan pelarut n-heksan dapat meningkatkan konversi reaksi transesterifikasi. Besarnya derajat konversi produk akan bervariasi, mulai dari konstan (tercapai kesetimbangan sejak awal), meningkat, atau bahkan menurun seiring dengan lamanya waktu reaksi. Konsentrasi awal semakin kecil, waktu ruang semakin besar, derajat konversi semakin besar.

Produksi biodisel kontinyu melalui transesterifikasi minyak jarak pagar secara enzimatis sangat prospektif dan menjanjikan. Oleh karenanya perlu disosialisasikan kepada pihak-pihak yang terkait dan berkompeten, khususnya industri biodisel, sehingga diharapkan nantinya dapat diproduksi biodisel kontinyu secara komersial.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Dikti sebagai pihak pemberi dana atas terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Akamatsu, Y. and Law, J.H., (1969), "The Enzymatic Synthesis of Fatty Acid Methyl Esters by Carboxyl Group Alkylation," *Journal of Lipid Research* (Abstract), September 2.
- Al Hilal Hamdi, 2005, *Akhir Jaman Minyak Bumi Murah*, Kompas, 11 Agustus.
- Anonim, 2005, *Development Jatropa Curcus Plantation As A Source of Row material for Biodiesel*, Directorate General Of Estate Crops, Jakarta, June.
- Andi Nur alam Syah, 2006, *Biodiesel Jarak Pagar Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan*, Agromedia Pustaka.
- BPPT, 2006, *Biodiesel Jarak Pagar Jadi Proyek Nasional BPPT*, Investor Daylight on line, febuari.
- Caro, Y, P. Villeneuve, M. Pina, Max-Reynes dan J. Graille, 2000. *Investigation of Crude Latex from Carica papaya Varieties for Lipid Conversion*. JAOCS 77 (8) : 891 – 901.
- ICBS, PT., 1997, "Studi Tentang Analisis Pasar dan Prospek Investasi Industri Oleokimia (Oleochemical) Indonesia".
- Ikhsan, D., Yulianto, M.E., dan Ariwibowo, D., 2006, "Studi Awal Pembuatan Biodisel Secara Kontinyu dalam Bioreaktor Packed Coloumn dari Minyak Jarak Pagar", Laporan Penelitian UNDIP.
- Ikhsan, D., Yulianto, M.E., Cahyandari, D., dan Ariwibowo, D., 2007, "Pengembangan Proses Enzimatis Untuk Produksi Biodisel Dari Minyak Jarak Pagar Dan Uji Performa Pada Mesin Disel", Laporan Sementara Hibah Bersaing.
- Ikhsan, D., Yulianto, M.E., dan Ariwibowo, D., 2006, "Studi Awal Pembuatan Biodisel Secara Kontinyu dalam Bioreaktor Packed Coloumn dari Minyak Jarak Pagar", Laporan Penelitian UNDIP.
- Investor Indonesia.Com, 2005, *PLN Akan Ganti Minyak Diesel Dengan Minyak Jarak*, Jakarta.
- Lawson, H.W., 1985, *Standard for Fats and Oils*, AVI Publishing.
- Nelson, L.A., T.A. Foglia dan W.N. Marmer, 1996. *Lipase-Catalyzed Production of Biodiesel*. JAOCS 73 (8) : 1191 – 1195.
- Othmer, K., 1992, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th edition, Vol.10, John Wiley and Sons, New York.
- Paquout, C., 1979, *Standard Methods for The Analysis of Fats and Derivatives*, 6th edition, Pergamon Press, New York.
- Perry, J.H., Green, D., 1984, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 6th edition, Mc Graw Hill, New York, p.4 and p.15.
- Swern, D., 1984, "Bailey's Industrial Oil and Fat Product", vol.2, 4ed., pp. 941-972, John Wiley and Sons, New York.
- Tatang Sopian, 2005, *Biodiesel Dari Tanaman Jarak*, Berit@ Iptek, September 2005
- Watanabe, Y, Y. Shimada, A. Sugihara, H. Noda, H. Fukuda dan Y Tominaga, 2000. *Continuoes Production of Biodiesel Fuel from Vegetable Oil Using Immobilized Candida antartica Lipase*. JAOCS 77 (3) : 355 – 360.
- Watanabe, Y, Y. Shimada, A. Sugihara dan Y Tominaga, 2001. *Enzymatic Conversion of Waste Edible Oil to Biodiesel Fuel in a Fixed-Bed Bioreactor*. JAOCS 78 (7) : 701 – 707.
- www.greenfuels.org/bioindex.html; 05/11/2002
- Yulianto, M.E., 2004, *Pengaruh Kondisi Operasi Penyingkiran Asam Lemak Bebas Dari Minyak Nabati Dengan Ekstraksi Dalam Tangki Berpengaduk*, Jurnal Rekayasa USM Semarang.
- Yulianto, M.E., dan Kurniawan, D., 2004, *Koefisien Perpindahan Massa Pada Ekstraksi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Nabati Dalam Tangki Berpengaduk*, Prosiding Seminar Nasional Keuangan UPN Yogyakarta, Januari, p.12-1 – 12-6.